

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-312639

(43)Date of publication of application : 09.11.1999

(51)Int.Cl.

H01L 21/027
G02B 3/00
G02B 3/08
G02B 19/00
G03F 7/20

(21)Application number : 11-002731

(71)Applicant : CANON INC

(22)Date of filing : 08.01.1999

(72)Inventor : SATO HIROSHI

(30)Priority

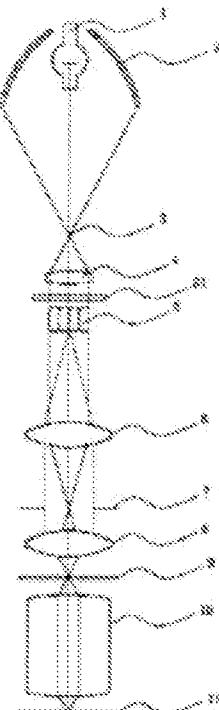
Priority number : 10 18929 Priority date : 30.01.1998 Priority country : JP

(54) ILLUMINATION OPTICAL APPARATUS AND PROJECTION ALIGNER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To enhance both the uniformity of the illuminance at the surface on which light is applied, and the uniformity of the number of the illuminating apertures.

SOLUTION: This illuminating optical apparatus, having a fly-eye lens 5 forming a secondary light source which uses luminous flux from a light source 1 and a condenser optical system 6 which illuminates a surface to be illuminated (a reticle 9 or a wafer 11) by the use of the luminous flux from the secondary light source. The condenser optical system 6 is constituted so that the numbers of the apertures observed from the respective point on the surface to be illuminated become substantially equal. At the same time, an ND filter 51 for equalizing the illuminance on the surface to be illuminated is provided.



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-312639

(43)公開日 平成11年(1999)11月9日

(51)Int.Cl. ⁶	識別記号	F I
H 01 L 21/027		H 01 L 21/30 5 1 5 D
G 02 B 3/00		G 02 B 3/00 A
3/08		3/08
19/00		19/00
G 03 F 7/20	5 2 1	G 03 F 7/20 5 2 1
		審査請求 有 請求項の数29 O L (全 11 頁)

(21)出願番号 特願平11-2731

(71)出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(22)出願日 平成11年(1999)1月8日

(72)発明者 佐藤 洋

東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会社内

(31)優先権主張番号 特願平10-18929

(74)代理人 弁理士 丸島 儀一

(32)優先日 平10(1998)1月30日

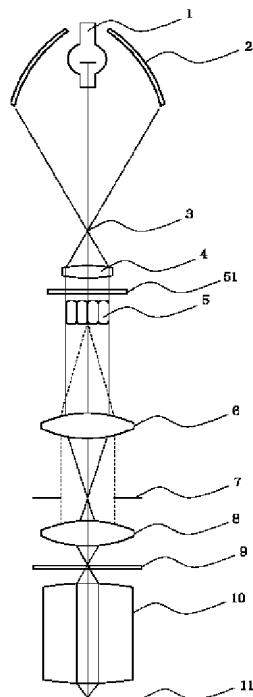
(33)優先権主張国 日本 (J P)

(54)【発明の名称】 照明光学装置及び投影露光装置

(57)【要約】

【課題】 被照射面上において照度の均一性と照明開口数の均一性の双方を同時に高めること。

【解決手段】 光源1からの光束を用いて2次光源を形成するフライアイレンズ5と、2次光源からの光束を用いて被照射面(レチクル9やウエハ11)を照明するコンデンサー光学系6とを有する照明光学装置であって、被照射面上の各点から見た2次光源の開口数が実質的に等しくなるようコンデンサー光学系を構成すると共に、被照射面上の照度を均一にするためのNDフィルター1を備える。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 光源からの光束を用いて2次光源を形成する2次光源形成手段と、前記2次光源からの光束を用いて被照射面を照明する光学手段とを有する照明光学装置であって、前記被照射面上の各点から見た前記2次光源の開口数が実質的に等しくなるよう共に、前記被照射面上の照度を均一にすることを特徴とする照明光学装置。

【請求項2】 光源からの光束を用いて2次光源を形成する2次光源形成手段と、前記2次光源からの光束を用いて被照射面を照明する光学手段とを有する照明光学装置であって、前記被照射面上の各点から見た前記2次光源の開口数が実質的に等しくなるよう前記光学手段を構成すると共に、前記被照射面上の照度を均一にするための照度均一化手段を備えることを特徴とする照明光学装置。

【請求項3】 前記被照射面上の各点から見た前記2次光源の同一の光強度とみなせる領域であって、最大の径を σ_{\max} 、最小の径を σ_{\min} としたとき、

$$\sigma_{\max}/\sigma_{\min} < 1.03$$

なる条件を満足するよう、前記光学手段を構成することを特徴とする請求項2記載の照明光学装置。

【請求項4】 前記2次光源形成手段は、複数の微小レンズ要素からなるフライアイレンズであって、前記照度均一化手段は、前記フライアイレンズの入射側で、所望の微小レンズ要素に入射する光量を制限する手段であることを特徴とする請求項2記載の照明光学装置。

【請求項5】 前記照度均一化手段は、光の入射角により透過率の異なる光学フィルターであって、前記2次光源形成手段と前記被照射面との間の光路中の前記被照射面の1点に到達する光が実質的に平行となる箇所に配置されていることを特徴とする請求項2記載の照明光学装置。

【請求項6】 前記光学フィルターは、光の入射角が増大するにつれて透過率が増加する特性を有していることを特徴とする請求項5記載の照明光学装置。

【請求項7】 前記照度均一化手段は、光の入射位置により透過率が異なる光学フィルターであって、前記被照射面近傍に配置されていることを特徴とする請求項2記載の照明光学装置。

【請求項8】 前記光学フィルターは、光軸から離れるにつれて透過率が増加する特性を有していることを特徴とする請求項7記載の照明光学装置。

【請求項9】 光源からの光束を用いて2次光源を形成するフライアイレンズと、前記2次光源からの光束を用いて被照射面を照明する光学手段とを有する照明光学装置であって、前記フライアイレンズを構成する複数の微小レンズ要素が非球面レンズによって構成されることを特徴とする照明光学装置。

【請求項10】 各微小レンズ要素の焦点距離をF、各

レンズ要素の光軸に平行な光線の最大入射高をh、最大入射高hで入射して射出される光線が前記光軸となす角度をθとするとき、

$$|1 - h / (F \cdot \sin \theta)| < 1/100$$

なる条件を満足することを特徴とする請求項9記載の照明光学装置。

【請求項11】 光源からの光束を用いて2次光源を形成するフライアイレンズと、前記2次光源からの光束を用いて被照射面を照明する光学手段とを有する照明光学装置であって、前記フライアイレンズを構成する複数の微小レンズ要素が回折光学素子によって構成されることを特徴とする照明光学装置。

【請求項12】 各微小レンズ要素の焦点距離をF、各レンズ要素の光軸に平行な光線の最大入射高をh、最大入射高hで入射して射出される光線が前記光軸となす角度をθとするとき、

$$|1 - h / (F \cdot \sin \theta)| < 1/100$$

なる条件を満足することを特徴とする請求項11記載の照明光学装置。

【請求項13】 光源からの光束を用いて2次光源を形成する2次光源形成手段と、前記2次光源からの光束を用いて被照射面を照明する光学手段と、前記被照射面を走査させる走査手段を有し、該走査手段により前記被照射面を走査させながら照明する照明光学装置であって、前記被照射面上の各点から見た前記2次光源の開口数が実質的に等しくなるよう前記光学手段を構成すると共に、前記被照射面と光学的に共役な面の近傍に前記被照射面上の照明領域の走査方向の幅を変える可変スリットを備え、前記照明領域の照度分布に応じて前記可変スリットにより照明領域の走査方向の幅を変えることを特徴とする照明光学装置。

【請求項14】 光源からの光束を用いて2次光源を形成する2次光源形成手段と、前記2次光源の形状を制限する絞りと、前記2次光源からの光束を用いて被照射面を照明する光学手段と、前記被照射面を走査させる走査手段を有し、該走査手段により前記被照射面を走査させながら照明する照明光学装置であって、前記被照射面と光学的に共役な面の近傍に前記被照射面上の照明領域の走査方向の幅を変える可変スリットを備え、前記2次光源の形状の変化に応じて前記可変スリットにより照明領域の走査方向の幅を変えることを特徴とする照明光学装置。

【請求項15】 光源からの光束を用いて2次光源を形成する2次光源形成手段と前記2次光源からの光束をレチクルに導光する光学手段とを備える照明光学系と、前記パターンをウエハ面上に投影する投影光学系とを有する投影露光装置において、前記照明光学系は、被照射面上の各点から見た前記2次光源の開口数が実質的に等しくなるよう前記光学手段を構成すると共に、前記被照射面上の照度を均一にするための照度均一化手段を備える

ことを特徴とする投影露光装置。

【請求項16】 前記被照射面上の各点から見た前記2次光源の同一の光強度とみなせる領域であって、最大の径を σ_{\max} 、最小の径を σ_{\min} としたとき、
 $\sigma_{\max}/\sigma_{\min} < 1.03$

なる条件を満足するよう、前記光学手段を構成することを特徴とする請求項15記載の投影露光装置。

【請求項17】 前記2次光源形成手段は、複数の微小レンズ要素からなるフライアイレンズであって、前記照度均一化手段は、前記フライアイレンズの入射側で、所望の微小レンズ要素に入射する光量を制限する手段であることを特徴とする請求項15記載の投影露光装置。

【請求項18】 前記照度均一化手段は、光の入射角により透過率の異なる光学フィルターであって、前記2次光源形成手段と前記被照射面との間の光路中の前記被照射面の1点に到達する光が実質的に平行となる箇所に配置されていることを特徴とする請求項15記載の投影露光装置。

【請求項19】 前記光学フィルターは、光の入射角が増大するにつれて透過率が増加する特性を有していることを特徴とする請求項18記載の投影露光装置。

【請求項20】 前記照度均一化手段は、光の入射位置により透過率が異なる光学フィルターであって、前記被照射面近傍に配置されていることを特徴とする請求項15記載の投影露光装置。

【請求項21】 前記光学フィルターは、光軸から離れるにつれて透過率が増加する特性を有していることを特徴とする請求項20記載の投影露光装置。

【請求項22】 光源からの光束を用いて2次光源を形成するフライアイレンズと前記2次光源からの光束をレチクルに導光する光学手段とを備える照明光学系と、前記パターンをウエハ面上に投影する投影光学系とを有する投影露光装置において、前記フライアイレンズを構成する複数の微小レンズ要素が非球面レンズによって構成されることを特徴とする投影露光装置。

【請求項23】 各微小レンズ要素の焦点距離をF、各レンズ要素の光軸に平行な光線の最大入射高をh、最大入射高hで入射して射出される光線が光軸となす角度を θ とするとき、
 $|1 - h / (F \cdot \sin \theta)| < 1/100$

なる条件を満足することを特徴とする請求項22記載の投影露光装置。

【請求項24】 光源からの光束を用いて2次光源を形成するフライアイレンズと前記2次光源からの光束をレチクルに導光する光学手段とを備える照明光学系と、前記パターンをウエハ面上に投影する投影光学系とを有する投影露光装置において、前記フライアイレンズを構成する複数の微小レンズ要素が回折光学素子によって構成されることを特徴とする投影露光装置。

【請求項25】 各微小レンズ要素の焦点距離をF、各

レンズ要素の光軸に平行な光線の最大入射高をh、最大入射高hで入射して射出される光線が前記光軸となす角度を θ とするとき、
 $|1 - h / (F \cdot \sin \theta)| < 1/100$

なる条件を満足することを特徴とする請求項24記載の投影露光装置。

【請求項26】 光源からの光束を用いて2次光源を形成する2次光源形成手段と前記2次光源からの光束をレチクルに導光する光学手段とを備える照明光学系と、前記パターンをウエハ面上に投影する投影光学系と、前記レチクルと前記ウエハを互いに同期して走査させる走査手段とを有し、該走査手段により前記レチクルと前記ウエハを走査させながら前記パターンをウエハに露光転写する投影露光装置であって、被照射面上の各点から見た前記2次光源の開口数が実質的に等しくなるよう前記光学手段を構成すると共に、前記被照射面と光学的に共役な面の近傍に前記被照射面上の照明領域の走査方向の幅を変える可変スリットを備え、前記照明領域の照度分布に応じて前記可変スリットにより前記照明領域の走査方向の幅を変えることを特徴とする投影露光装置。

【請求項27】 光源からの光束を用いて2次光源を形成する2次光源形成手段と前記2次光源の形状を制限する絞りと前記2次光源からの光束をレチクルに導光する光学手段とを備える照明光学系と、前記パターンをウエハ面上に投影する投影光学系と、前記レチクルと前記ウエハを互いに同期して走査させる走査手段とを有し、該走査手段により前記レチクルと前記ウエハを走査させながら前記パターンをウエハに露光転写する投影露光装置であって、被照射面と光学的に共役な面の近傍に前記被照射面上の照明領域の走査方向の幅を変える可変スリットを備え、前記2次光源の形状の変化に応じて前記可変スリットにより照明領域の走査方向の幅を変えることを特徴とする投影露光装置。

【請求項28】 請求項15乃至27記載の投影露光装置を用いてレチクルに形成されたパターンをウエハに露光転写する工程と、ウエハに露光転写されたパターンを現像する工程を有することを特徴とするデバイスの製造方法。

【請求項29】 複数の微小レンズ要素からなるフライアイレンズであって、各微小レンズ要素の少なくとも1つのレンズ面が非球面であることを特徴とするフライアイレンズ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は照明光学装置に関し、特に半導体素子等の製造に用いられる投影露光装置の照明光学系に好適に用いられる照明光学装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 半導体素子製造用の投影露光装置では、

レチクル（マスク）上に形成された回路パターンを投影光学系を介して、ウエハ等の半導体基板上に投影露光している。

【0003】従来の投影露光装置は、所定の輝度分布を有する光源または光源像からの光をフライアイレンズに入射させ、フライアイレンズの出射面近傍に形成された2次光源からの光で、コンデンサー光学系により回路パターンが形成されたレチクルを照明し、被照射面（レチクルやウエハ）に対する均一な照明を図っている。

【0004】ところで、コンデンサー光学系による射影では照明光学系の被照射面における開口数を均一化するための条件として、フライアイレンズが正弦条件を満足せねばならないことが知られている。フライアイレンズにおける正弦条件は、フライアイレンズを構成する微小レンズ要素の焦点距離をF、各微小レンズ要素の光軸に平行な照明光学系の最大入射高をh、最大入射高hで入射して射出される光線が前記光軸と成す角度をθとするとき、

$$h = F \cdot \sin \theta$$

で表せる。

【0005】一般にフライアイレンズは、両凸球面のロッド状の微小レンズ要素を2次元的に配列したものであるが、このようなフライアイレンズでは上述の正弦条件を十分満足することができないため、正弦条件不満足量により被照射面で中心から周辺に行くにつれて照度が低下する傾向を有している。

【0006】また、レンズに用いられる反射防止膜は光線入射角が大きいほど光を反射する特性を持つが、一般にレンズ周辺を透過する光線の方が大きな入射角を持つため、やはり被照射面において、中心から周辺に行くにつれて照度が低下する傾向となっている。

【0007】以上のような理由により、従来の投影露光装置では、被照射面の中心に比べて周辺の照度が低くなる照度ムラを防ぎ、被照射面上における照度の均一化を図るため、コンデンサー光学系によって、図15(a)のような歪曲収差を意図的に発生させ、周辺に到達する光の光量が低下しないようにしている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】図15(a)に示した歪曲収差を与えるコンデンサー光学系を用いると、He-1mholz-Lagrangeの不变量により、図15(b)のように被照射面の各点から観察される2次光源の大きさが、軸上と軸外の各点において異なることになる。例えば図15(b)において、各点で観察される2次光源の形状は、画面内のどの点においてもほぼ同一であるが、最大の光強度を100としたとき、光強度20の等高線の径を比較すると、軸上より軸外の径の方が大きくなってしまっている。すなわち、従来の投影露光装置においては、コンデンサー光学系で意図的に歪曲収差を与えるようにしているので、被照射面上の軸上と軸

外において観察される2次光源の大きさ（σ値）が異なってしまっていた。

【0009】近年の半導体素子製造用の投影露光装置では、超LSIの高集積化に伴い、これまで以上に被照射面全面での像均一性が要求されている。このため、照明光学系としては、被照射面における照度の均一性と共に、被照射面上の各点から観察される2次光源の大きさの被照射面全面における均一性も要求されてきている。

【0010】今、照明光学系の開口数をNAi1、投影光学系の開口数をNAppとしたとき、2次光源（有効光源）は、 $\sigma = NAi1 / NApp$ の値でも表現される。例えば、波長248nm、像側開口数NA0.6の投影露光装置の実験では、 σ が0.1異なると0.3μm線幅の孤立線の線幅が約20nm異なるという実験結果が得られている。現在要求されている画面内線幅均一性から、被照射面内における2次光源（ σ ）差による線幅への影響は5nm程度以内に抑える必要があるとされている。それには被照射面の各点で観察される2次光源の同一強度比と見なせる領域の径が最大のものを σ_{max} 、最小のものを σ_{min} としたとき、 σ_{max} と σ_{min} のバランス差が最大でも3%以内であることが望ましい。

【0011】しかしながら、このように従来の投影露光装置に用いられていた照明光学系では、被照射面上における照度の均一性と照明開口数の均一性の双方を同時に満足させることはできなかった。

【0012】本発明は、被照射面上において照度の均一性と照明開口数の均一性の双方を同時に高めることのできる照明光学装置及び投影露光装置を提供することを目的とする。

【0013】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、本願第1発明の照明光学装置は、光源からの光束を用いて2次光源を形成する2次光源形成手段と、前記2次光源からの光束を用いて被照射面を照明する光学手段とを有する照明光学装置であって、前記被照射面上の各点から見た前記2次光源の開口数が実質的に等しくなるようにすると共に、前記被照射面上の照度を均一にすることを特徴としている。

【0014】本願第2発明の照明光学装置は、光源からの光束を用いて2次光源を形成する2次光源形成手段と、前記2次光源からの光束を用いて被照射面を照明する光学手段とを有する照明光学装置であって、前記被照射面上の各点から見た前記2次光源の開口数が実質的に等しくなるよう前記光学手段を構成すると共に、前記被照射面上の照度を均一にするための照度均一化手段を備えることを特徴としている。

【0015】本願第3発明の照明光学装置は、光源からの光束を用いて2次光源を形成するフライアイレンズと、前記2次光源からの光束を用いて被照射面を照明す

る光学手段とを有する照明光学装置であって、前記フライアイレンズを構成する複数の微小レンズ要素が非球面レンズによって構成されることを特徴としている。

【 0016 】本願第4発明の照明光学装置は、光源からの光束を用いて2次光源を形成するフライアイレンズと、前記2次光源からの光束を用いて被照射面を照明する光学手段とを有する照明光学装置であって、前記フライアイレンズを構成する複数の微小レンズ要素が回折光学素子によって構成されることを特徴としている。

【 0017 】本願第5発明の照明光学装置は、光源からの光束を用いて2次光源を形成する2次光源形成手段と、前記2次光源からの光束を用いて被照射面を照明する光学手段と、前記被照射面を走査させる走査手段を有し、該走査手段により前記被照射面を走査させながら照明する照明光学装置であって、前記被照射面上の各点から見た前記2次光源の開口数が実質的に等しくなるよう前記光学手段を構成すると共に、前記被照射面と光学的に共役な面の近傍に前記被照射面上の照明領域の走査方向の幅を変える可変スリットを備え、前記照明領域の照度分布に応じて前記可変スリットにより照明領域の走査方向の幅を変えることを特徴としている。

【 0018 】本願第6発明の照明光学装置は、光源からの光束を用いて2次光源を形成する2次光源形成手段と、前記2次光源の形状を制限する絞りと、前記2次光源からの光束を用いて被照射面を照明する光学手段と、前記被照射面を走査させる走査手段を有し、該走査手段により前記被照射面を走査させながら照明する照明光学装置であって、前記被照射面と光学的に共役な面の近傍に前記被照射面上の照明領域の走査方向の幅を変える可変スリットを備え、前記2次光源の形状の変化に応じて前記可変スリットにより照明領域の走査方向の幅を変えることを特徴としている。

【 0019 】本願第7発明の投影露光装置は、光源からの光束を用いて2次光源を形成する2次光源形成手段と前記2次光源からの光束をレチクルに導光する光学手段とを備える照明光学系と、前記パターンをウエハ面上に投影する投影光学系とを有する投影露光装置において、前記照明光学系は、被照射面上の各点から見た前記2次光源の開口数が実質的に等しくなるよう前記光学手段を構成すると共に、前記被照射面上の照度を均一にするための照度均一化手段を備えることを特徴としている。

【 0020 】本願第8発明の投影露光装置は、光源からの光束を用いて2次光源を形成するフライアイレンズと前記2次光源からの光束をレチクルに導光する光学手段とを備える照明光学系と、前記パターンをウエハ面上に投影する投影光学系とを有する投影露光装置において、前記フライアイレンズを構成する複数の微小レンズ要素が非球面レンズによって構成されることを特徴としている。

【 0021 】本願第9発明の投影露光装置は、光源から

の光束を用いて2次光源を形成するフライアイレンズと前記2次光源からの光束をレチクルに導光する光学手段とを備える照明光学系と、前記パターンをウエハ面上に投影する投影光学系とを有する投影露光装置において、前記フライアイレンズを構成する複数の微小レンズ要素が回折光学素子によって構成されることを特徴としている。

【 0022 】本願第10発明の投影露光装置は、光源からの光束を用いて2次光源を形成する2次光源形成手段と前記2次光源からの光束をレチクルに導光する光学手段とを備える照明光学系と、前記パターンをウエハ面上に投影する投影光学系と、前記レチクルと前記ウエハを互いに同期して走査させる走査手段とを有し、該走査手段により前記レチクルと前記ウエハを走査させながら前記パターンをウエハに露光転写する投影露光装置であって、被照射面上の各点から見た前記2次光源の開口数が実質的に等しくなるよう前記光学手段を構成すると共に、前記被照射面と光学的に共役な面の近傍に前記被照射面上の照明領域の走査方向の幅を変える可変スリットを備え、前記照明領域の照度分布に応じて前記可変スリットにより前記照明領域の走査方向の幅を変えることを特徴としている。

【 0023 】本願第11発明の投影露光装置は、光源からの光束を用いて2次光源を形成する2次光源形成手段と前記2次光源の形状を制限する絞りと前記2次光源からの光束をレチクルに導光する光学手段とを備える照明光学系と、前記パターンをウエハ面上に投影する投影光学系と、前記レチクルと前記ウエハを互いに同期して走査させる走査手段とを有し、該走査手段により前記レチクルと前記ウエハを走査させながら前記パターンをウエハに露光転写する投影露光装置であって、被照射面と光学的に共役な面の近傍に前記被照射面上の照明領域の走査方向の幅を変える可変スリットを備え、前記2次光源の形状の変化に応じて前記可変スリットにより照明領域の走査方向の幅を変えることを特徴としている。

【 0024 】本願第12発明のデバイスの製造方法は、本願第7乃至第11発明の投影露光装置を用いてレチクルに形成されたパターンをウエハに露光転写する工程と、ウエハに露光転写されたパターンを現像する工程を有することを特徴としている。

【 0025 】本願第13発明のフライアイレンズは、複数の微小レンズ要素からなるフライアイレンズであって、各微小レンズ要素の少なくとも1つのレンズ面が非球面であることを特徴としている。

【 0026 】

【発明の実施の形態】(実施形態1) 図1は、本発明の第1の実施形態の照明光学系(照明光学装置)を備えた投影露光装置の概略構成図である。

【 0027 】1は水銀ランプ等の光源であり、光源1からの光束は橢円ミラー2の第2焦点3に結像される。4

は光学系であり、コンデンサーレンズやコリメータレンズそしてズームレンズなどから成り、第2焦点3近傍に形成された光源1の発光部像をコリメートしてフライアイレンズ5の入射面に入射させている。フライアイレンズ5は断面が4角形状の複数の微小レンズを2次元的に所定のピッチで配列して構成しており、その射出面近傍に2次光源が形成される。6はコンデンサー光学系であり、コンデンサーレンズやコリメータレンズそしてズームレンズなどから構成されている。

【0028】7はマスキングブレードで複数の可動遮光板よりなり、任意の開口形状の形成を可能にしている。8は電子回路パターンが描かれているレチクル9を照射するレンズ系、10はレチクル9を縮小投影する投影光学系(投影レンズ)、11はレチクル9上の回路パターンが投影転写されるウエハ(基板)である。

【0029】本実施形態の照明光学系においては、コンデンサー光学系6の歪曲収差を十分に小さくすることで、被照射面各点において観察される2次光源の大きさ(開口数)のアンバランスを解消している。具体的には被照射面内の各点で観察される2次光源の大きさのバラツキを3%以内に抑え、実質的に2次光源の大きさが被照射面内で均一とみなせるようにした。この際、フライアイレンズ5の正弦条件不満足量及び各レンズに用いられる反射防止膜の光線入射角に依存した透過特性により発生する周辺照度が低い照度ムラを補正するため、照度均一化手段を照明光学系中に備えている。

【0030】ここで、図2(a)、(b)に示すような光軸に関して対称で周辺照度が低い照度ムラを補正する場合を考える。被照射面を重畠して照明するための微小レンズ要素を有するフライアイレンズ5の入射面5aは被照射面とほぼ共役である。フライアイレンズ5の微小レンズ要素のうち、少なくとも1つに入射する光量を調整する光量制御手段、例えば図2(c)に示すような円形のCr等のパターンが配置されたNDフィルター51を構成し、フライアイレンズ5の微小レンズ要素の光入射側5aからの距離を図2(d)のごとく適切に配置する。このような構成により、被照射面において軸上の照度が低下するため、図2(e)のような照度分布変化が発生し、図2(b)のような周辺照度が低い照度ムラを補正し、被照射面上の照度の均一性を向上させることができる。

【0031】上述のフィルター以外にも周辺照度が低くなっている照度ムラを補正するNDフィルターとして、図3(a)に示すように大きさの異なる円形の光量調整部を配置するとともに、フライアイレンズ5の微小レンズの光入射側5aからの距離を適切にすることで、各部分に図3(b)及び(c)のような効果を持たせ、これらの効果の総和として図3(d)のように補正するタイプも考えられる。この方法を用いれば、各円形光量調整部の径や透過率を適宜調整する(図3(b)および

(c)に示す各々の効果範囲や補正量を変える)ことで、被照射面中心部と最周辺部の照度分布補正だけでなく、被照射面中心部から最周辺部への間を含めた被照射面全域での補正効果をより最適化させることが可能になる。

【0032】この光学フィルターはND部分を適切なパターン形状、透過率、配置とすることで、フライアイレンズの正弦条件不満足量および反射防止膜の影響以外で発生した照度ムラの補正も効果的に行える。

【0033】また本実施形態において、NDフィルター51を光軸と垂直な方向に2次元的に駆動可能とすれば、図4(a)、(b)に示したような光軸に関して非対称に傾斜した照度ムラを補正することも可能になる。具体的には、図4(a)、(b)に示したような照度ムラに対して、図4(c)に示したような補正を加えるべく、図4(d)のごとくNDフィルター51を光軸と垂直な方向に移動させればよい。

【0034】(実施形態2)図5は、本発明の第2の実施形態の照明光学系を備えた投影露光装置の概略構成図である。本実施形態において、図1に示した第1の実施形態の投影露光装置と同符号の部材は同一の機能を有するので説明を省略する。

【0035】第1の実施形態が照度均一化手段としてNDフィルター51を用いていたのに対して、本実施形態では、図6(a)に示すような、光の入射角により透過率の異なる特性を有する光学フィルター52を、フライアイレンズ5と被照射面との間の光路中の被照射面の1点に到達する光が実質的に平行となる箇所に配置する点が最も大きな差異である。

【0036】光学フィルター52は、光の入射角が増大するにつれて透過率が増加する特性を有しているため、被照射面においては軸外に行くにつれて到達する光量が図6(b)に示すように増加する。よって、周辺照度が低い照度ムラを補正することができる。

【0037】また本実施形態において、光学フィルター52を傾斜させることによって、光軸に関して非対称な傾斜した照度ムラを補正することも可能になる。

【0038】(実施形態3)図7は、本発明の第3の実施形態の照明光学系を備えた投影露光装置の概略構成図である。本実施形態において、図1に示した第1の実施形態の投影露光装置と同符号の部材は同一の機能を有するので説明を省略する。

【0039】第1及び第2の実施形態の投影露光装置と本実施形態の投影露光装置の差異は、図8(a)に示すような、軸上では透過率が低く、軸外に行くにつれて透過率が上昇するような光学フィルター53をレチクル面近傍に配置した点である。このような構成により、被照射面においては軸上の照度が図8(b)に示すように低下するため、周辺照度が低い照度ムラを補正することができる。

【 0040 】 (実施形態 4) 前述したように、一般にコンデンサー光学系 6 の歪曲収差を十分に小さくすることで、被照射面各点において観察される 2 次光源像の大きさのアンバランスを解消すると、フライアイレンズ 5 の正弦条件不満足量により周辺照度が低下する。これを解消するためには、フライアイレンズの正弦条件不満足量を小さくして、実質的に $h = F \cdot \sin \theta$ の条件を満たすようフライアイレンズを構成すればよい。

【 0041 】 被照射面上の各点における 2 次光源の開口数のバラツキを 3 % 以内に抑え、実質的に 2 次光源開口数が被照射面内で均一と見なせるようにするためには、フライアイレンズの正弦条件不満足量 OSC を、

$$OSC = h / \sin \theta - F$$

と定義したとき、特開平 8-262367 号公報に記載されているように、正弦条件不満足量 OSC が焦点距離の 1 % 以下でなければならぬ。

【 0042 】 すなわち $OSC / F < 1 / 100$ より本実施形態のフライアイレンズは、

$$| 1 - h / (F \cdot \sin \theta) | < 1 / 100$$

なる条件を満足しなければならぬ。

【 0043 】 いわゆる 3 次収差の議論では正弦条件を満たすために、非球面レンズを使用すれば良いことが知られている。本実施形態ではフライアイレンズを構成する各微小レンズ要素のレンズ面を、図 9 に示すごとく非球面にして上記の条件式を満足させ、フライアイレンズ正弦条件を実質的に満足させている。

【 0044 】 (実施形態 5) 本実施形態では、フライアイレンズの正弦条件不満足量を小さくするために、フライアイレンズを、図 10 (a), (b) に示すごとく、回折光学素子により構成している。本実施形態において、回折光学素子は、フレネルレンズやグレーティング、バイナリオプティックス素子等を含んで表現している。

【 0045 】 本実施形態の場合も被照射面上の各点における 2 次光源の開口数のバラツキを 3 % 以内に抑え、実質的に 2 次光源の開口数を被照射面上の各点で均一と見なせるようにするため、フライアイレンズを、

$$| 1 - h / (F \cdot \sin \theta) | < 1 / 100$$

なる条件を満足するよう構成している。

【 0046 】 (実施形態 6) 上述してきた実施形態 1 ～ 5 に示した 2 次光源開口数及び照度の均一化の方法は、ステップアンドリピート型の投影露光装置とステップアンドスキャン型の投影露光装置の双方に対して適用できるものである。

【 0047 】 本実施形態に示す方法は、ステップアンドスキャン型の投影露光装置固有の方法で、本発明の目的を達成する実施形態である。

【 0048 】 フライアイレンズが正弦条件を満足しないことにより、周辺に行くにつれて照度が低下するのはステップアンドスキャン型の露光装置でも同様であるが、

走査しながら露光を行うため、被照射面においては走査方向に対し垂直方向断面に積算した露光ムラが発生することになる。

【 0049 】 本実施形態においては、上記のような露光ムラの発生を効果的に防止するため、照射領域の走査方向の幅を所望の幅に変えられるような構成になっている。具体的には、図 11 に示すように、被照射面と光学的に共役な位置近傍に設けられている可変スリット 20 の走査方向の幅が所望の幅に変えられるような構成になっている。なお、図 11 において、図 1 に示した第 1 の実施形態の投影露光装置と同符号の部材は同一の機能を有するので説明を省略する。

【 0050 】 今、図 12 に示すように、軸上 X 0 でのスキャン方向に積算した光量が I 0 、ある像高 X 1 でのスキャン方向に積算した光量が I 1 であるとき、スリット部分の幅を軸上で D 0 、対応する像高で D 1 とし、 $I 0 \times D 0 = I 1 \times D 1$ となるようにスリット 20 の幅を変化させてスキャンすれば、スキャン露光したときの積算光量がスリット全ての像高で均一化できる。

【 0051 】 なお、この方法は任意にスリットを可変とすることで、フライアイレンズの正弦条件不満足量および反射防止膜の影響以外で発生した露光ムラの補正も効果的に行える。

【 0052 】 ところで、照明条件を変更した場合 (例えば 2 次光源の形状を円形の均一開口から環状の開口に変えた場合等) 、照度分布が変化し被照射面上の照度均一性が保てなくなることがある。このような場合でも、本実施形態に示したステップアンドスキャン型の投影露光装置では、可変スリット 20 の走査方向の幅を変えることで、被照射面上の照度の均一化を図ることもできる。なお、所定の特性を持った光学フィルターを実施形態 1 ～ 3 に示したように光学系中に挿入することで照度の均一化を図ってももちろん構わない。

【 0053 】 実施形態 1 ～ 6 では光源 1 の一例として水銀ランプを示したが、レーザー等によって有効光源を形成しても何ら機構的に異なるものではない。

【 0054 】 また、実施形態 1 ～ 6 においては、光源 1 の発光部像からの光を光学系 4 によりコリメートしてフライアイレンズ 5 の入射面に入射させているが、図 16 に示すごとく、光源 1 の発光部像がフライアイレンズ 5 の入射面近傍で再結像するように光学系 4 を構成してもよい。なお、図 16 では、フライアイレンズ 5 以降の部材については省略している。

【 0055 】 (実施形態 7) 次に上述した実施形態 1 ～ 6 の投影露光装置を利用した半導体デバイスの製造方法の実施例を説明する。

【 0056 】 図 13 は半導体デバイス (IC や LSI 等の半導体チップ、液晶パネルや CCD) の製造フローを示す。ステップ 1 (回路設計) では半導体デバイスの回路設計を行う。ステップ 2 (マスク制作) では設計した

回路パターンを形成したマスク（レチクル9）を制作する。一方、ステップ3（ウエハ製造）ではシリコン等の材料を用いてウエハ（ウエハ11）を製造する。ステップ4（ウエハプロセス）は前工程と呼ばれ、上記用意したマスクとウエハとを用いて、リソグラフィー技術によってウエハ上に実際の回路を形成する。次のステップ5（組み立て）は後工程と呼ばれ、ステップ4によって作成されたウエハを用いてチップ化する工程であり、アッセンブリ工程（ダイシング、ボンディング）、パッケージング工程（チップ封入）等の工程を含む。ステップ6（検査）ではステップ5で作成された半導体デバイスの動作確認テスト、耐久性テスト等の検査を行う。こうした工程を経て半導体デバイスが完成し、これが出荷（ステップ7）される。

【0057】図14は上記ウエハプロセスの詳細なフローを示す。ステップ11（酸化）ではウエハ（ウエハ11）の表面を酸化させる。ステップ12（CVD）ではウエハの表面に絶縁膜を形成する。ステップ13（電極形成）ではウエハ上に電極を蒸着によって形成する。ステップ14（イオン打込み）ではウエハにイオンを打ち込む。ステップ15（レジスト処理）ではウエハにレジスト（感材）を塗布する。ステップ16（露光）では上記露光装置によってマスク（レチクル9）の回路パターンの像でウエハを露光する。ステップ17（現像）では露光したウエハを現像する。ステップ18（エッチング）では現像したレジスト以外の部分を削り取る。ステップ19（レジスト剥離）ではエッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。これらステップを繰り返し行うことによりウエハ上に回路パターンが形成される。

【0058】本実施形態の製造方法を用いれば、従来は難しかった高集積度の半導体デバイスを製造することが可能になる。

【0059】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、被照射面上において照度の均一性と照明開口数の均一性の双方を同時に高めることのできる照明光学装置及び投影露光装置が実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施形態の投影露光装置の概略構成図である。

【図2】第1の実施形態において、照度ムラを補正する方法を説明するための図である。

【図3】第1の実施形態において、照度ムラを補正する

他の方法を説明するための図である。

【図4】第1の実施形態において、傾斜した照度ムラを補正する方法を説明するための図である。

【図5】第2の実施形態の投影露光装置の概略構成図である。

【図6】第2の実施形態において、照度ムラを補正する方法を説明するための図である。

【図7】第3の実施形態の投影露光装置の概略構成図である。

【図8】第3の実施形態において、照度ムラを補正する方法を説明するための図である。

【図9】非球面を有するフライアイレンズを示す図である。

【図10】回折光学面を有するフライアイレンズを示す図である。

【図11】第6の実施形態の投影露光装置の概略構成図である。

【図12】第6の実施形態において、走査方向に積算した光量ムラを補正する方法を説明するための図である。

【図13】半導体デバイスの製造工程を示す図である。

【図14】図13の工程中のウエハプロセスの詳細を示す図である。

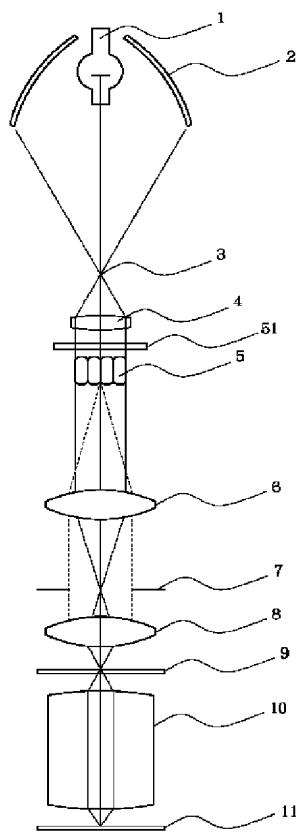
【図15】従来の照明光学系を説明するための図である。

【図16】実施形態1～6における照明光学系の他の例を示す図である。

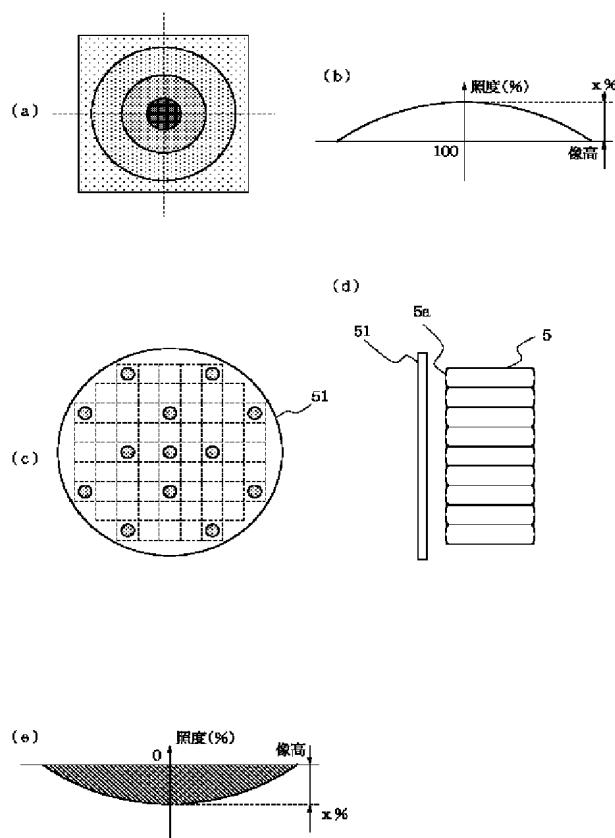
【符号の説明】

- 1 光源
- 2 楕円ミラー
- 3 楕円ミラー2の第2焦点
- 4 光学系
- 5 フライアイレンズ
- 6 コンデンサー光学系
- 7 マスキングブレード
- 8 レンズ系
- 9 レチクル
- 10 投影光学系
- 11 ウエハ
- 51 NDフィルター
- 52 光の入射角によって透過率が異なる光学フィルター
- 53 光の入射位置によって透過率が異なる光学フィルター

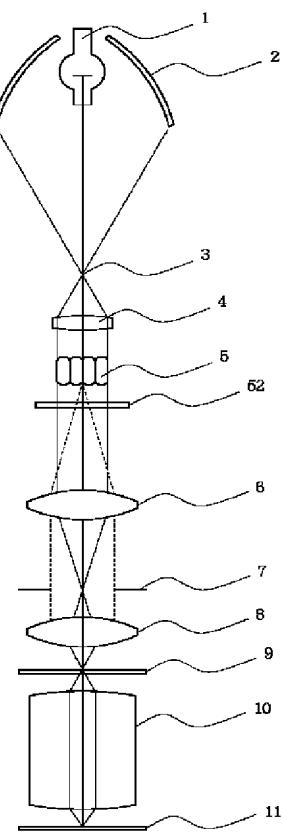
【図1】



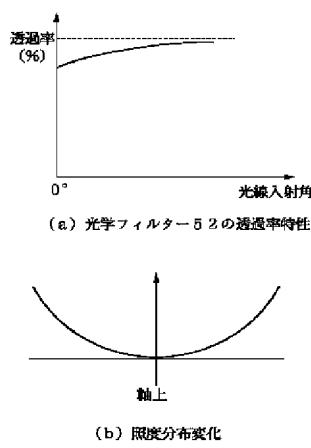
【図2】



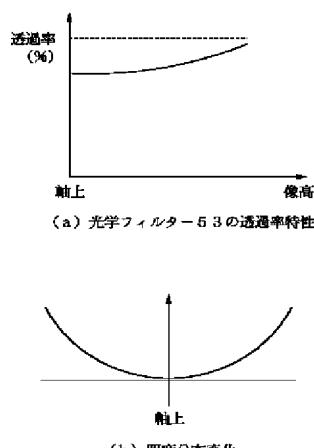
【図5】



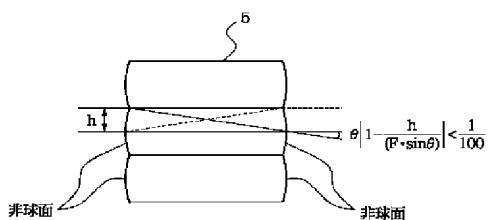
【図6】



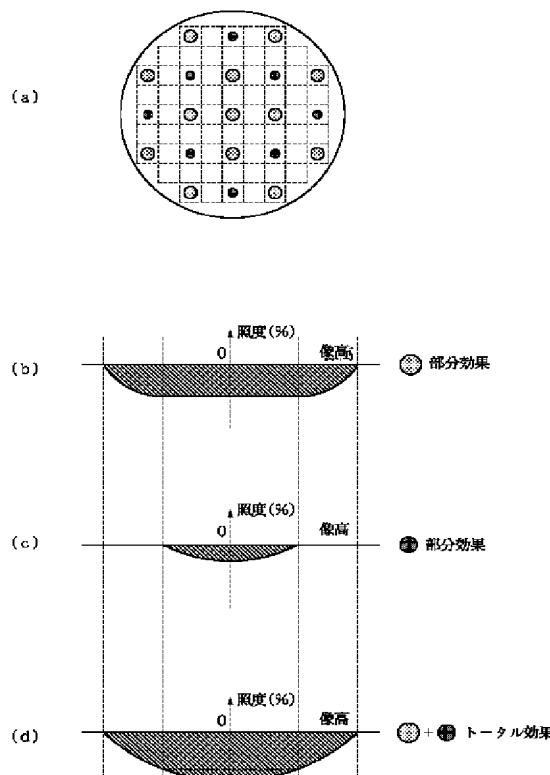
【図8】



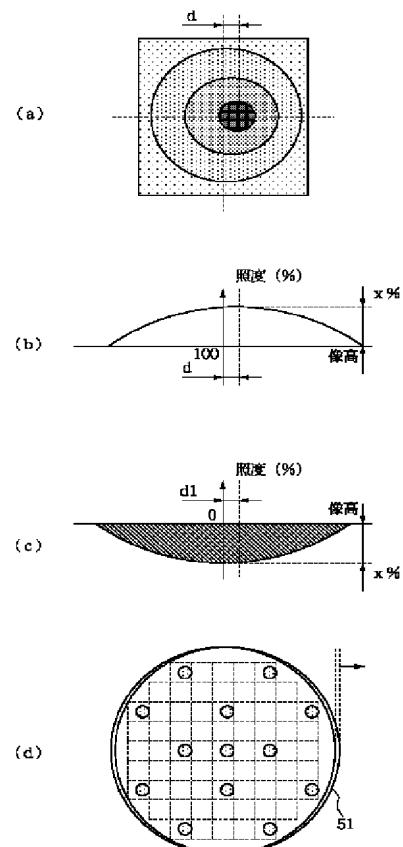
【図9】



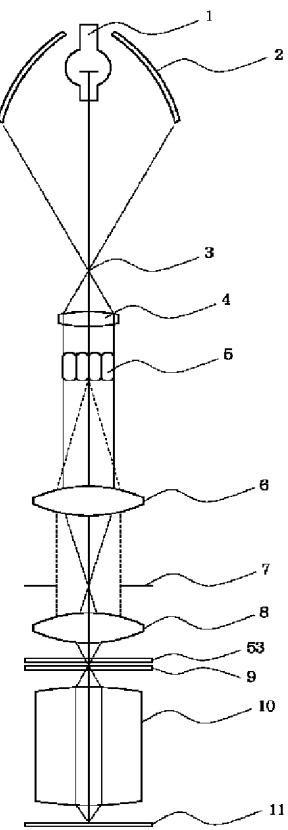
【図3】



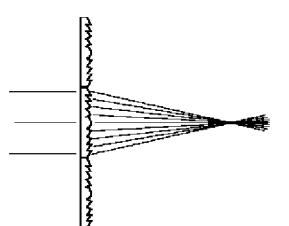
【図4】



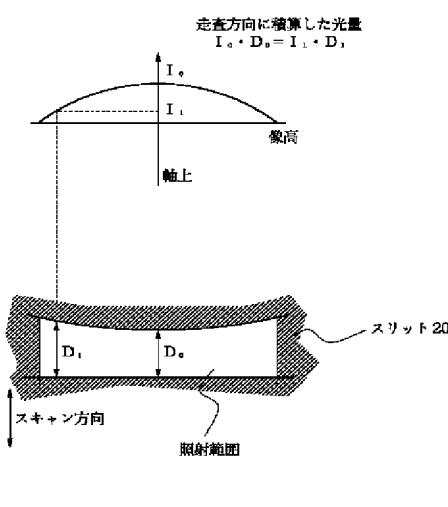
【図7】



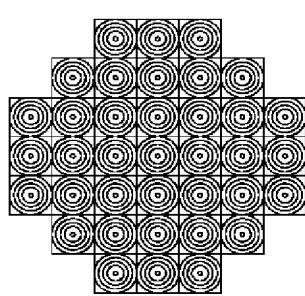
【図10】



【図12】

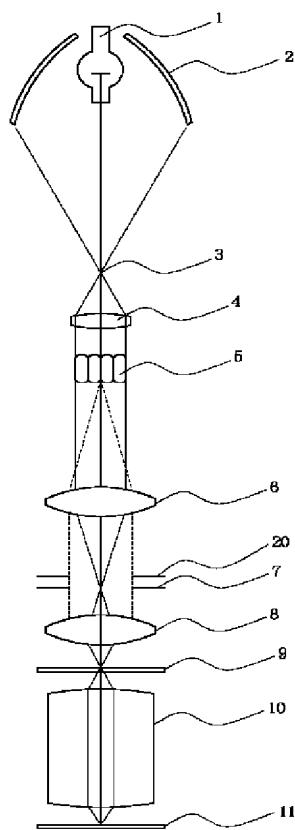


【図16】

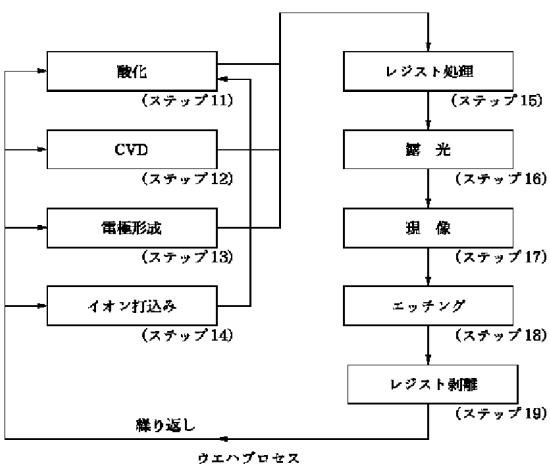


個々のフライアイレンズがフレネルレンズである模式図

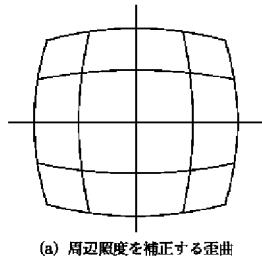
【図11】



【図13】

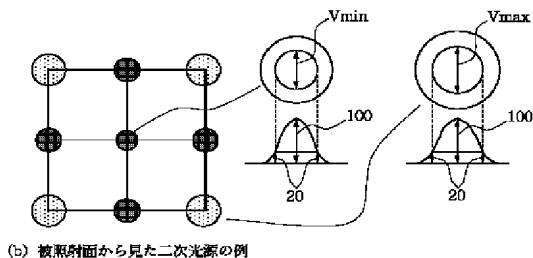
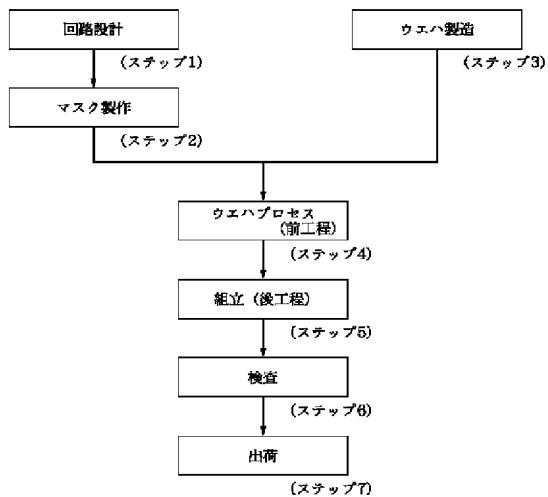


【図15】



(a) 周辺屈度を補正する歪曲

【図14】



(b) 被照射面から見た二次光源の例